

APROVEITAMENTO DE ALGUMAS FONTES DE POTÁSSIO PELO
SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH)*

Antonia A. Vidal**

Andre Martin Louis Neptune***

RESUMO

Com o objetivo de estudar a eficiência de três materiais potássicos originários de Poços de Caldas, MG, e submetidos a tratamento hidrotérmico, foi conduzido um experimento de campo, utilizando o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivar "Start".

Os materiais potássicos foram analisados para determinação do teor de potássio; também foram feitas análises granulométricas dos mesmos.

* Entregue para publicação em 30/12/83.

Este trabalho faz parte do "Projeto Sorgo Sacarino" patrocinado pela FAPESP.

** Banco do Brasil, Campinas.

*** Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, E. S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Areão da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, em Terra Roxa Estruturada de fertilidade mediana. As fontes de potássio foram comparadas com o cloreto de potássio e utilizou-se de duas doses de K_2O/ha (100 kg/ha de K_2O e 200 kg/ha de K_2O).

Após a colheita do experimento foram feitas análises de produção de colmos e grãos, teores de potássio nas folhas, colmos e grãos, quantidade do elemento exportado pelos colmos e grãos, além de análises tecnológicas para determinação das quantidades de açúcar total recuperável e de álcool etílico.

Através dos resultados obtidos e analisados concluiu-se que:

- O material potássico designado por amostra 2 apresentou maior teor de K_2O solúvel em ácido cítrico 2% (26,02%) e resultou em maior produção de grãos e maior quantidade de potássio extraída pelos mesmos, quando aplicado na dose 2 (200 kg/ha de K_2O).
- O material potássico designado por amostra 1 (27,5% de K_2O solúvel em ácido cítrico 2%) apresentou a menor granulometria, porém, nem sempre o material de menor grau de finura é o mais solúvel.

- Houve resposta à aplicação das fontes de potássio no que diz respeito aos teores deste elemento nos colmos e a quantidade do elemento extraída pelos mesmos, porém não houve diferença entre as fontes utilizadas.
- O cloreto de potássio, quando aplicado na dose 2 (200 kg/ha de K_2O) teve efeito negativo na produção de grãos, na porcentagem de potássio nos grãos e a quantidade de potássio extraída pelos mesmos.
- Houve resposta à aplicação das fontes de potássio no que diz respeito à quantidade de açúcar total recuperável e produção de álcool teórico, porém, o comportamento das fontes foi semelhante.

INTRODUÇÃO

O potássio é um macronutriente essencial para as plantas e animais, sendo que figura em segundo lugar após o nitrogênio, entre os elementos mais absorvidos pelas plantas.

Funções múltiplas e complexas foram atribuídas a este nutriente: funciona como ativador de inúmeras enzimas, tem o seu papel na abertura e fechamento de estômatos, na síntese de proteínas, na fotossíntese, no metabolismo geral dos carboidratos, na respiração, transpiração e divisão celular, podendo, também, afetar a qualidade dos produtos agrícolas (GAUCH, 1972; EVANS & SORGER, 1966; EVANS & WILDES, 1971; JACKSON & VOLK, 1968; MALAVOLTA, 1976).

Apesar da importância deste nutriente para as plantas, o Brasil importa todo o potássio utilizado, atingindo a quantidade de 1.270.000 t em 1980. Porém em 1985, o país estará em condições de deixar de importar 20% do consumo nacional de potássio, graças aos sais solúveis de potássio que estão sendo explorados no estado de Sergipe.

Uma outra alternativa para que o país pudesse diminuir a importação dos adubos potássicos, seria o aproveitamento de depósitos de rochas potássicas existentes em Poços de Caldas (MG), que após serem submetidas a um tratamento adequado (NEPTUNE et alii, 1980), poderiam ser utilizadas como adubo.

Há muito tempo, antes mesmo das descobertas dos Sais de Stassfurt, na Alemanha, houve a preocupação de se utilizar, após trituração, de rochas contendo potássio (JOHNSTONE, 1922). No Brasil, existem tentativas para a utilização das rochas potássicas para a agricultura, como fonte de potássio para as plantas.

Em São Paulo, BOOK et alii (1960) utilizaram em ensaios de campo com batatinha, em diferentes solos, com diferentes teores de potássio trocável (K^+), a leucita, procedente de Poços de Caldas, que é um metassilicato de alumínio e potássio, a fim de se estudar a possibilidade de aproveitá-la como adubo. Porém, não houve resposta à aplicação da leucita em todas as doses usadas (30, 60 e 90 kg/ha de K_2O). NEVES et alii (1960) em ensaios de adubação do algodoeiro, encontraram um efeito quase nulo da leucita.

LIMA et alii (1969) selecionaram como promissoras as rochas: feldspato potássico (ortose), cloritaxisto e micaxisto obtidas nos estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte. Admitem, estes pesquisadores, possibilidades técnicas e econômicas do emprego de rochas ricas em K e Mg, finamente trituradas em moinho de bola, com grau de finura variando de > 125 milimicrons a < 500 milimicrons.

O cloritaxisto, entre as rochas utilizadas, foi a mais promissora, devendo ser aplicada na dosagem de 5 t/ha a 15 t/ha.

O trabalho de GRAHAM & ALBRECHT (1952) chamou a atenção pelo fato de estes pesquisadores terem calcinado vários materiais potássicos (glauconita, feldspato, etc.) a 400°C e 700°C e terem conseguido resultados positivos com aplicação dos materiais tratados no solo.

Segundo FUJIMORI (1979) os minerais mais ricos em potássio, com exceção de evaporitos, são aluminossilicatos: micas, feldspato e feldspatóides. Os feldspatóides são caracterizados pela menor quantidade de sílica que os feldspatos, e os potássicos são leucita, $KAlSi_2O_6$ ($K_2O = 21,92\%$); nefelina, $KNa_3(AlSi_3O_8)$, em geral, com predominância de sódio ($K/Na = 0,05 \approx 0,04$) e "Kalsilita" ou "Kaliofilita" ($K_2O = 30,19\%$). Nestes cristais os átomos de potássio ocupam espaços vazios em redes tridimensionais formadas de tetraedros de silício e alumínio. A mobilidade dos átomos de potássio depende da densidade dos tetraedros e simetria de arranjo deles.

O $KAlSi_3O_8$ é o aluminossilicato mais pobre em sílica e apresenta polimorfismo nos minerais naturais e nos artificiais, sendo que os naturais são "Kalsilita" e "Kaliofilita", e sua ocorrência é bastante rara (FUJIMORI, 1979).

Conforme Heirer e Billings (1970), citados por FUJIMORI (1979), dentre as propriedades cristalográficas da "Kaliofilita" tem-se: sistema hexagonal, grupo espacial $P6_3 22$ e constantes reticulares

$$a = 26,9 \overset{\circ}{\text{Å}} \text{ e } c = 8,5 \overset{\circ}{\text{Å}}.$$

De acordo com Perrota e Smith (1965) citados por FUJIMORI (1979), o cristal de "Kalsilita" apresenta as propriedades

$$a = 5,16 \overset{\circ}{\text{Å}} \text{ e } c = 8,69 \overset{\circ}{\text{Å}}.$$

Os dois minerais anteriormente citados se cristalizam com nefelina e leucita em microcristais e parecem não resistir ao intemperismo. FUJIMORI (1979) conseguiu eliminar o excesso de sílica através do processo hidrotermal e obter cristais com sistema hexagonal,

$$a = 5,22 \text{ \AA} \text{ e } c = 8,68 \text{ \AA}.$$

A estrutura cristalina real se encontra bastante deformada, com relação à estrutura cristalina idealizada, sendo que na real, segundo FUJIMORI (1979), a energia reticular de retenção do átomo de potássio foi baixada sensivelmente, não chegando a ser extraída pela água, mas sim com solução cítrica a 2%, o que sugere o aparecimento deste mineral semi-artificial como adubo potássico.

Experimentos realizados por NEPTUNE et alii (1980) a respeito da disponibilidade deste elemento em amostras submetidas a vários tratamentos, utilizando o arroz como planta indicadora, em Latosol Vermelho-escuro textura média, mostraram, pelos resultados, que não houve diferença significativa entre aquelas fontes de potássio e o cloreto de potássio.

Observou-se, ainda, nesses experimentos, que não houve diferença significativa entre os materiais potássicos quando se utilizou a dose de 100 kg de K_2O/ha , porém, com a aplicação da dose de 200 kg de K_2O/ha um dos materiais potássicos se destacou dos demais.

Em experimento realizado por VIDAL et alii (1980), "Kalsilitas" apresentaram eficiências semelhantes à do cloreto de potássio, tanto na produção de grãos como no suprimento de potássio para o trigo.

NEPTUNE et alii (1980) consideram tais materiais como fontes lentamente solúveis de potássio; em certas ocasiões oferecem vantagens, quando comparadas com as fontes solúveis deste elemento. Podem reduzir as perdas por lixiviação e conseqüentemente não há preocupação com o fracionamento nas aplicações. Evitam um consumo de lu

xo de potássio pelas plantas, mesmo quando aplicados em doses elevadas, como também, impedem o efeito salino que pode prejudicar a germinação e o bom desenvolvimento de certas culturas.

Estes materiais não acidificam o solo e possuem baixa higroscopicidade por não serem sais (DE MENT & STANFORD, 1959; ALLEN & MAYS, 1974; FUJIMORI, 1979).

Por outro lado, devido à crise energética, iniciou-se a produção de etanol a partir de matérias-primas renováveis, substituindo parte do petróleo importado (ARAÚJO et alii, 1977).

Surgiu, então, a possibilidade de se trabalhar com outras matérias-primas além da cana-de-açúcar, para obtenção de álcool.

O sorgo sacarino, pelos resultados obtidos nos Estados Unidos (REEVES JR., 1976), México (FORS, 1971) e pesquisas recentes em nosso país (SERRA, 1966, TEIXEIRA et alii, 1977; ARAÚJO et alii, 1977), pode ser considerado como matéria-prima com boas possibilidades de expansão de cultivo para a produção de álcool.

O caráter de ciclo curto da cultura poderá ser um aspecto positivo adicional, pois, a coincidência do início da colheita da cultura do sorgo com o final da colheita da cana-de-açúcar permitiria prolongamento do período de moagem das destilarias autônomas, diminuindo o tempo ocioso destas unidades industriais.

Deve-se considerar que, segundo SADER et alii (1979), para maior produção de matéria seca, o sorgo sacarino extrai potássio em proporções muito maiores que nitrogênio e fósforo e os teores de potássio encontrados na planta em diversas épocas de amostragem são também maiores que os de fósforo e nitrogênio.

Conforme ROSOLEM (1979), o potássio é o nutriente mais exigido e mais exportado pelo sorgo sacarino.

Dessa forma, utilizou-se do sorgo sacarino como planta indicadora para os ensaios de adubação com os materiais potássicos a serem testados.

As principais metas desse estudo foram:

1. Caracterização química e granulométrica dos materiais potássicos.
2. Efeitos destes materiais potássicos na absorção de potássio pelas plantas de sorgo sacarino, na produção de colmos e grãos, além da produção de açúcar total recuperável e álcool etílico.

MATERIAL E MÉTODOS

Origem dos materiais potássicos utilizados

Estes materiais potássicos provenientes de Poços de Caldas (MG) são originários de material que sofreu tratamento hidrotérmico e denominados Amostra 1, Amostra 2 e Amostra 3.

Análise granulométrica

Foi realizada uma análise granulométrica dos materiais potássicos, sendo que os mesmos foram peneirados durante 15 minutos em peneiras de 20, 50, 100, 200 e 300 malhas/pol e a seguir procedeu-se à pesagem e análises granulométricas.

Análise química

Os materiais foram, também, analisados quanto aos teores de K_2O solúvel em ácido cítrico a 2% e solúvel em água.

Experimento de Campo

Local do experimento

O experimento foi instalado na Fazenda Areão, propriedade da ESALQ/USP, em Piracicaba, São Paulo.

Solo: classificação e análise química

O solo foi classificado como pertencente ao Grande Grupo Terra Roxa Estruturada, ordem Alissol.

Da área onde foi instalado o experimento coletaram-se amostras de solo, conforme descrito por CATANI & JACINTHO (1974a). O resultado da análise química deste solo está relacionado na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo no local do experimento de campo.

	K^+	Ca^{+++}	Mg^{+++}	Al^{+++}	H^+
pH	(e.mg/100 g TFSA)				
5,0	0,21	2,56	1,44	0,36	5,92

As determinações químicas foram feitas em Terra Fi na Seca ao Ar, de acordo com os seguintes métodos: (a) valor pH no potenciômetro de Beckman, utilizando-se da relação 1:2,5 para solo:água; (b) teor de potássio trocável no fotômetro de chama; (c) teores de cálcio e magnésio no espectrofotômetro de absorção atômica; (d) teores de hidrogênio e alumínio através de extração com KCl, conforme McLEAN (1965).

Observou-se que este solo apresenta acidez média, teores médios de potássio, cálcio e alumínio trocável e teores altos de magnésio trocável e hidrogênio (CATANI & JACINTHO, 1974b).

Tratamentos

O presente ensaio constou de dez tratamentos, sendo três materiais potássicos mais o cloreto de potássio, aplicados em duas doses, além da testemunha absoluta e do tratamento onde se usou somente nitrogênio e fósforo. As fontes potássicas e doses utilizadas estão relacionadas na Tabela 2.

Para cálculos das doses dos adubos, tomou-se por base os teores de K_2O solúvel em ácido cítrico, das fontes potássicas.

Colheita

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições; a análise estatística foi feita utilizando esquema fatorial, com três fatores, série mista, em blocos casualizados, com tratamento adicional (COCHRAN & COX, 1957; SNEDEDOR & COCHRAN, 1967).

Tabela 2. Fontes potássicas e doses do ensaio de campo.

Tratamentos	Fontes de potássio	Doses de potássio (kg K ₂ O/ha)
1	Testemunha absoluta	-
2	Testemunha NP	-
3	KCl	100 (D ₁)
4	Amostra 1 (A ₁)	100 (D ₁)
5	Amostra 2 (A ₂)	100 (D ₁)
6	Amostra 3 (A ₃)	100 (D ₁)
7	KCl	200 (D ₂)
8	Amostra 1 (A ₁)	200 (D ₂)
9	Amostra 2 (A ₂)	200 (D ₂)
10	Amostra 3 (A ₃)	200 (D ₂)

D₁ = dose 1 (100 kg K₂O/ha); D₂ = dose 2 (200 kg K₂O/ha).

A₁ = amostra 1; A₂ = amostra 2; A₃ = amostra 3.

Adubação básica (NP)

Os tratamentos receberam adubação básica com nitrogênio e fósforo, com exceção da testemunha absoluta; a relação das doses e fontes que constituíram essa adubação encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Adubação básica: doses e fontes.

Nutrientes	Doses (kg/ha)	Fontes
N	100	uréia
P ₂ O ₅	150	superfosfato simples

Instalação e condução do experimento

A espécie utilizada foi o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), a partir de sementes da cultivar "Start".

Foram feitos sulcos de aproximadamente 10 cm de profundidade e os adubos potássicos, juntamente com o fósforo, foram adicionados nos mesmos, encobertos com solo, ficando cerca de 5 cm abaixo e 5 cm ao lado do sulco da semente. A uréia foi adicionada parceladamente, sendo um terço no sulco de plantio e dois terços em cobertura.

O plantio ocorreu a 03 de janeiro de 1981, com espaçamento de 0,88 m entre linhas; as sementes foram colocadas nos sulcos feitos no talude principal a uma distância de, aproximadamente, 5 cm uma da outra.

A germinação ocorreu 7 dias após sementeira e 15-20 dias depois, foi realizado o desbaste, conservando-se 15 a 17 plantas por metro linear de sulco.

O período experimental compreendeu o ciclo da cultura, isto é, 120 dias, desde o início de janeiro até o início de maio quando este foi colhido.

Colheita

A colheita foi levada a efeito em 05 de maio de 1981, tendo sido retiradas três linhas de cada parcela, separando-se folhas, colmos e grãos e estes foram pesados separadamente, obtendo-se a produção de colmos e grãos em quilogramas por hectare.

Preparo do material para análise química

As folhas foram secas ao ar livre e a seguir colocadas em estufa a 70°C. Para as panículas, escolheu-se cerca de 10 por parcela, deixando-se secar ao ar livre e a seguir em estufa a 70°C.

Os colmos foram triturados, tomando-se uma amostra de, aproximadamente, 1 quilograma, a qual foi seca ao ar livre e posteriormente em estufa a 70°C.

Os materiais vegetais secos em estufa (folhas, colmos e grãos) foram moídos em micromoinho Wiley, peneira nº 20, com a finalidade de se determinar o potássio em cada parcela da planta.

Análise de potássio nas amostras

As determinações de potássio nos materiais vegetais foram feitas através de digestão do material seco,

com digestão nitroperclórico e análise pelo espectrofotômetro de emissão.

Preparo do material para análise tecnológica

Foram retirados 15 colmos ao acaso, em cada parcela, para serem submetidos a análises tecnológicas. Os colmos foram desintegrados e a seguir prensados em prensa hidráulica; o caldo extraído foi coletado em copo plástico, coado em peneira de malha fina e homogeneizado.

Análises tecnológicas

As análises tecnológicas foram realizadas segundo métodos preconizados pela Divisão Agronômica do Centro de Tecnologia COPERSUCAR (1980) e determinou-se: (1) Brix refratométrico (°B); (2) Pol do caldo extraído (S); (3) fibra por cento sorgo (F); (4) % de caldo extraído (CE); (5) pureza do sorgo (P); (6) açúcares totais (AT); (7) pureza dos açúcares totais (PAT); (8) açúcar total recuperável (ATR).

Cálculo do álcool teórico

A quantidade de álcool por tonelada de sorgo foi calculada através da fórmula adotada pela Divisão Agronômica da COPERSUCAR, SP, 1982 (Comunicação Pessoal):

$$\text{Álcool teórico} = 5,246 \cdot \text{AT\% sorgo} - 0,472 \cdot \text{F}$$

onde:

AT% = açúcares totais por cento sorgo

F = fibra por cento sorgo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises químicas dos materiais potássicos

A Tabela 4 apresenta os teores de K_2O solúvel em ácido cítrico 2% e em água, para os materiais potássicos e para KCl.

Tabela 4. Teores de K_2O e CaO solúveis em ácido cítrico e solúveis em água.

Materiais Potássicos	Solubilidade em água (%)		Solubilidade em ácido cítrico 2% (%)	
	K_2O	CaO	K_2O	CaO
A_1	5,13	1,28	17,50	17,57
A_2	7,50	0,11	26,02	0,62
A_3	8,00	0,12	21,72	0,98
KCl	58,00	-	28,00	-

A_1 = amostra 1; A_2 = amostra 2; A_3 = amostra 3.

Observa-se que a amostra 2 foi a que apresentou maior teor de K_2O solúvel em ácido cítrico 2%, vindo a seguir as amostras 3 e 1.

Para os teores de K_2O solúvel em água, a amostra 3 apresentou o maior valor, seguida pelas amostras 2 e 1.

Como é óbvio, o cloreto de potássio apresentou teor mais elevado de K_2O solúvel em água e em ácido cítrico 2% que as três amostras testadas.

Análises granulométricas dos materiais potássicos

A Tabela 5 mostra as porcentagens dos materiais que atravessaram as peneiras de 20, 50, 100, 200 e 300 malhas/polegada².

Tabela 5. Análise granulométrica dos materiais.

Amostra 1 (A_1) - (% que atravessou cada peneira)

peneira 20 =	95,48
peneira 50 =	62,73
peneira 100 =	35,93
peneira 200 =	15,58
peneira 300 =	0,00

Amostra 2 (A_2) - (% que atravessou cada peneira)

peneira 20 =	75,91
peneira 50 =	34,22
peneira 100 =	14,71
peneira 200 =	7,03
peneira 300 =	0,00

Amostra 3 (A_3) - (% que atravessou cada peneira)

peneira 20 =	77,74
peneira 50 =	47,47
peneira 100 =	31,35
peneira 200 =	22,06
peneira 300 =	0,00

Observa-se que a amostra 1 é a de menor granulometria, seguida pelas amostras 3 e 2. No entanto, a amostra 3 apresenta maior porcentagem de partículas com diâmetro menor que 0,149 mm (peneira 100) que a amostra 1.

Apesar de a amostra 1 ser a de menor granulometria, é a de menor solubilidade em água e ácido cítrico 2%.

Experimento de Campo

Produção de colmos

A Tabela 6 mostra as médias de produção de colmo verde e seco em quilograma por hectare, sendo que estas médias variaram de 25.899 kg a 34.947 kg para o colmo verde e de 6.043 kg a 8.307 kg para o colmo seco. Não houve diferença significativa entre os tratamentos podendo-se constatar que a média mais elevada foi obtida quando se empregou a amostra 3 na dose 1.

Tabela 6. Produção de colmos verdes e secos e grãos.

Tratamentos	Colmos verdes (kg/ha)	Colmos secos (kg/ha)	Grãos (kg/ha)
Test. absoluta	25.899	6.043	4.460
Test. NP	28.358	7.147	4.102
KCl (D ₁)	26.797	6.460	4.975
A ₁ (D ₁)	30.360	7.294	5.778
A ₂ (D ₁)	30.317	7.618	4.267
A ₃ (D ₁)	34.944	8.307	5.111
KCl (D ₂)	30.095	7.469	4.064
A ₁ (D ₂)	30.898	7.577	5.566
A ₂ (D ₂)	33.512	8.190	6.146
A ₃ (D ₂)	31.618	7.918	4.213
CV (%)	24,00		15,36

D.M.S. (5%) para grãos dentro dose 2 = 1.739

O fato de não se haver constatado diferenças significativas entre os tratamentos, talvez seja devido ao teor médio de potássio existente no solo, no local do experimento.

FORS (1971), no México, chegou a obter produções de 39 t/ha de colmos despalhados para a cultivar "Start".

BERNAL et alii (1973), no México, aplicando doses de 40 a 50 kg de K_2O por hectare obtiveram produções de 28 a 75 toneladas por hectare de colmos.

Em estudo sobre nutrição mineral e adubação do sorgo sacarino, ROSOLEM (1979) obteve para os diferentes tratamentos utilizados, produções de colmo variando de 20,08 até 51,55 t/ha com as cultivares "Brandes" e "Rio", em solo de alta fertilidade.

Produção de grãos

A Tabela 6 apresenta também as médias de produção de grãos; observa-se que houve diferença significativa em termos estatísticos quando se analisou a interação do *ses versus* amostras. A amostra 2 quando utilizada na dose 2 (200 kg K_2O /ha) diferiu do KCl e amostra 3, sendo que a produção de grãos, quando se aplicou este tratamento, atingiu 6.146 kg/ha.

As fontes de potássio, dentro da dose 2, diferiram ao nível de 5%; a maior média foi obtida com a amostra 2 e o cloreto de potássio deu menores resultados diferindo da amostra 2.

Quando se utilizou da dose 1 (100 kg K_2O /ha), não houve diferença significativa entre as diversas fontes de potássio.

Os resultados obtidos neste experimento foram melhores que os encontrados por TEIXEIRA et alii (1977) com

a cultivar "Start", onde obtiveram produção de 4 toneladas de grãos por hectare.

BERNAL *et alii* (1973), no México, aplicando 50 kg de K_2O por hectare, também conseguiram produção média de 4 toneladas de grãos por hectare.

Resultados do Ensaio Nacional de Sorgo Sacarino apresentados pela EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1979), mostraram uma média de rendimento de grãos secos para dez cultivares e híbridos de 3,4 t/ha.

ROSOLEM (1979), trabalhando com as cultivares "Brandes" e "Rio", obteve produtividade de grãos variando de 1,24 até 4,01 t/ha.

Observa-se que o KCl, aplicado na dose 2, deu menores resultados que quando utilizado na dose 1.

Porcentagens de potássio nos colmos, folhas e grãos

A Tabela 7 apresenta as médias de porcentagem de potássio nos colmos, folhas e grãos, sendo que estas médias variaram de 0,58 a 0,87% para os colmos, de 0,61 a 0,97% para as folhas e de 0,33 a 0,44% para os grãos.

Com relação aos teores de potássio nos colmos, houve diferença significativa quando se analisou a testemunha NP em relação aos demais tratamentos. Quando se aplicou somente nitrogênio e fósforo obteve-se a menor média de porcentagem de potássio nos colmos.

Observa-se, neste caso, que houve resposta à aplicação de potássio, pois a testemunha NP apresentou média significativamente menor que os outros tratamentos, porém, a testemunha absoluta não diferiu dos demais tratamentos.

Tabela 7. Porcentagens de potássio nos colmos, folhas e grãos.

Tratamentos	%K colmos	%K folhas	%K grãos
Test. absoluta	0,69	0,61	0,35
Test. NP	0,58	0,77	0,41
KCl (D ₁)	0,83	0,81	0,39
A ₁ (D ₁)	0,73	0,87	0,37
A ₂ (D ₁)	0,63	0,97	0,44
A ₃ (D ₁)	0,81	0,92	0,39
KCl (D ₂)	0,87	0,87	0,32
A ₁ (D ₂)	0,86	0,94	0,36
A ₂ (D ₂)	0,75	0,72	0,39
A ₃ (D ₂)	0,81	0,85	0,39
CV (%)	15,33	15,50	14,16

Com relação às porcentagens de potássio nas folhas, houve diferença significativa quando se analisou a testemunha absoluta em relação aos demais tratamentos, sendo que esta apresentou a menor média de porcentagem de potássio nas folhas.

Para os teores de potássio nos grãos, não houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que a média mais elevada foi obtida quando se aplicou a dose 1 (100 kg K₂O/ha) na amostra 2 (A₂).

O fato de não se haver constatado diferença significativa entre os tratamentos pode ser devido ao teor médio de potássio existente no solo, no local do experimento ou devido aos materiais potássicos serem tão eficientes quanto o KCl.

Novamente, o KCl quando aplicado na dose 2, deu resultados negativos em termos de porcentagem do elemento no grão.

Quantidades de potássio extraídas pelos colmos

Essas quantidades foram calculadas a partir das produções de colmos e das porcentagens de potássio extraídas pelos colmos.

A tabela 8 apresenta a quantidade de potássio extraída pelo colmo em quilograma por hectare, bem como a quantidade de potássio absorvida do fertilizante e a utilização do elemento em porcentagem. Os cálculos da porcentagem aparente de utilização de potássio foram feitos da seguinte forma:

$$\% \text{ aparente de utilização do K} = \frac{\text{K extraído do fertilizante}}{\text{quantidade de K aplicada}} \times 100$$

A quantidade extraída do fertilizante foi calculada descontando-se a quantidade média absorvida nos tratamentos testemunha absoluta e com NP.

As quantidades extraídas variaram de 41,45 kg/ha e 67,28 kg/ha; as doses diferiram entre si ao nível de 5% e as testemunhas absoluta e NP diferiram dos demais tratamentos ao nível de 1%.

Quando se analisou a média das quatro fontes utilizadas, dentro de cada dose, obteve-se a maior média para a dose 2. Dentro dessa dose, o maior resultado foi obtido com a amostra 1.

Neste caso, também, houve resposta à aplicação do potássio, pois, as testemunhas absoluta e NP, diferiram dos demais tratamentos.

Tabela 8. Quantidade de K extraída pelos colmos, quantidade de K absorvida do fertilizante e utilização do K em porcentagem.

Tratamentos	Quantidade de K extraída pelos colmos (kg/ha)	Quantidade de K absorvida do fertilizante (kg/ha)	Utilização aparente do K (%)
Test. absoluta	41,70	-	-
Test. NP	41,45	-	-
KCl (D ₁)	53,61	12,03	14,49
A ₁ (D ₁)	53,24	11,66	14,04
A ₂ (D ₁)	47,99	6,41	7,72
A ₃ (D ₁)	67,28	25,70	30,96
KCl (D ₂)	64,98	23,40	28,19
A ₁ (D ₂)	65,16	23,58	28,40
A ₂ (D ₂)	61,42	19,84	23,90
A ₃ (D ₂)	64,13	22,55	27,16
CV (%)	15,38		

O cloreto de potássio não se destacou em relação às fontes de potássio testadas, o que mostra que as mesmas foram tão ou mais eficientes que o KCl.

A maior média para as quantidades de potássio no colmo foi obtida com aplicação da amostra 3 na dose 1.

Quantidades de potássio extraídas pelos grãos

Essas quantidades foram calculadas a partir das produções de grãos e das porcentagens de potássio extraídas pelos mesmos.

A Tabela 9 apresenta a quantidade de potássio extraída pelo grão em quilograma por hectare, bem como a quantidade de potássio absorvida do fertilizante e a utilização do elemento em porcentagem.

Tabela 9. Quantidade de K extraída pelos grãos, quantidade de K absorvida do fertilizante e utilização do K em porcentagem.

Tratamentos	Quantidade de K extraída pelos grãos	Quantidade de K absorvida do fertilizante (kg/ha)	Utilização aparente do K (%)
Test. absoluta	15,61	-	-
Test. NP	17,18	-	-
KCl (D ₁)	19,20	2,02	2,43
A ₁ (D ₁)	21,32	4,14	4,99
A ₂ (D ₁)	18,67	1,49	1,79
A ₃ (D ₁)	19,73	2,55	3,07
KCl (D ₂)	13,00	-	-
A ₁ (D ₂)	20,00	2,82	3,40
A ₂ (D ₂)	24,13	6,95	8,37
A ₃ (D ₂)	16,27	-	-
CV (%)	11,22		

- Teste de Tukey 5% para amostras

D.M.S. = 3,36

KCl	=	16,11c
A ₁	=	20,66ab
A ₂	=	21,40a
A ₃	=	18,00bc

Os valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

As quantidades extraídas variaram de 13,00 kg/ha até 24,13 kg/ha; houve diferença ao nível de 1% para a interação doses **versus** amostras e ao nível de 5% para a interação testemunha absoluta **versus** demais tratamentos. As médias dos materiais dentro das duas doses diferiram entre si ao nível de 1% de probabilidade, sendo que a maior média foi obtida com a amostra 2 e a menor média com o cloreto de potássio.

Quando se analisou as fontes de K dentro da dose 2, a maior média também foi obtida com a amostra 2 e a menor com o cloreto de potássio.

O cloreto de potássio quando aplicado na dose 2 deu resultados negativos em termos de quantidade de potássio extraída pelos grãos.

- Teste de Tukey para amostras dentro da dose 2.

D.M.S. = 4,75

KCl	=	13,00c
A ₁	=	20,00ab
A ₂	=	24,13a
A ₃	=	16,27bc

Os valores seguidos pela mesma letra não diferiram estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Quantidades de potássio extraídas pelos colmos e grãos

A Tabela 10 apresenta a quantidade total de K extraída pelos colmos e grãos em quilogramas por hectare.

Tabela 10. Quantidade total de K extraída pelos colmos e grãos.

Tratamentos	Quantidade total de K extraída pelos colmos e grãos (kg/ha)
Test. absoluta	57,31
Test. NP	58,63
KCl (D ₁)	72,81
A ₁ (D ₁)	74,56
A ₂ (D ₁)	66,66
A ₃ (D ₁)	87,01
KCl (D ₂)	77,98
A ₁ (D ₂)	85,16
A ₂ (D ₂)	85,55
A ₃ (D ₂)	80,40

Observa-se que estes valores variaram de 57,31 kg/ha e 87,01 kg/ha, sendo que a maior quantidade de K extraída foi obtida com a aplicação da amostra 3 (dose 1), seguida pelas amostras 2 e 1 na dose 2.

Análises tecnológicas

Como não houve diferença significativa entre os diversos tratamentos para cada componente das análises tecnológicas, colocaram na Tabela 11, os valores mínimos e máximos obtidos da análise de cada componente essencial para determinar a produção de açúcar e do etanol.

Tabela 11. Valores mínimos e máximos obtidos pela análise tecnológica dos componentes que levam aos cálculos da produção de açúcar e do etanol.

Componentes	Valores	
	Mínimos	Máximos
°Brix (% caldo)	14,20	15,67
°Brix (% sorgo)	12,24	13,48
Pol (% caldo)	7,15	10,00
Pol (% sorgo)	6,53	8,16
Fibra (% sorgo)	12,06	12,80
Caldo extraído (%)	64,33	67,93
Açúcares (% caldo)	11,49	12,81
Açúcares totais (% sorgo)	9,89	11,02
Pureza do sorgo (%)	53,35	61,53
Pureza dos açúcares totais (%)	80,74	84,93

No que diz respeito ao Brix refratométrico, a maior média foi obtida quando se aplicou a dose 2 (200 kg de K₂O/ha) da amostra 3.

De acordo com SERRA (1976), os valores de °Brix em porcentagem de caldo de sorgo sacarino variam de 16 a 20% na época da colheita.

TEIXEIRA & PURCHIO (1954), trabalhando com três cultivares, obtiveram 16,9% de Brix em porcentagem de caldo, na época da colheita.

BERNAL et alii (1973), no México, aplicando 50 kg de K₂O por hectare, determinaram valores de Brix em porcentagem de sorgo igual a 13,82%, na colheita de plantas maduras.

Em ensaio realizado por TEIXEIRA et alii (1977) com a cultivar "Start", obteve-se 14% de Brix por cento de caldo.

Para os valores de Pol em porcentagem de caldo extraído, a testemunha absoluta diferiu dos demais tratamentos ao nível de 1%.

O melhor resultado para os valores de Pol obtidos em porcentagem de caldo e de sorgo foi obtido com a aplicação da Asmotra 3 na dose 2 (200 kg de K₂O/ha), seguida do KCl na dose 1. Novamente observou-se o efeito negativo do KCl quando aplicado na dose 2.

A Tabela 11 mostra as porcentagens de fibra no sorgo. O valor máximo de fibra foi obtido com a aplicação da amostra 1 na dose 2.

Considerando a porcentagem de caldo extraído, verificou-se que o tratamento onde não se aplicou adubo (testemunha absoluta) apresentou o valor máximo.

Segundo COLEMAN (1975), considera-se como uma boa cultivar, aquela que apresenta 50% ou mais de extração, em moenda de um termo. Conforme citado pela EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1979), valores acima de 55% de extração são os melhores quando se utiliza moenda.

Nos valores de açúcares totais em porcentagem de caldo extraído e porcentagem de sorgo, somente a testemunha absoluta diferiu dos demais tratamentos ao nível de 5%. Nos tratamentos onde se aplicou os materiais potássicos, os teores de açúcares totais por cento de caldo variaram de 12,03% a 12,81% e os teores de açúcares totais por cento de sorgo variaram de 10,34% e 11,02%.

TEIXEIRA & PURCHIO (1954), utilizando cultivares do Instituto Agrônomo de Campinas, obtiveram 15,7% de açúcares totais em porcentagem de caldo extraído para sorgo no período da colheita.

SERRA (1976), em Ribeirão Preto, obteve maior valor de 17% de açúcares totais no caldo extraído, para um ensaio realizado. O autor cita que valores de açúcares totais no caldo no período da colheita geralmente variam de 14 a 20%.

Conforme resultados do Ensaio Nacional de Sorgo Sacarino, da EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1979) aos 115 dias após semeadura os valores de açúcares totais foram iguais a 10%.

No que concerne à porcentagem de caldo extraído, deve-se notar que o tratamento onde não se aplicou adubo (testemunha absoluta) foi o que apresentou o valor máximo (67,93%).

Considerando os dados relativos a teores de pureza do sorgo, o valor máximo foi obtido (61,53%) com a utilização do cloreto de potássio, aplicando a dose 1 (100 kg/ha de K_2O). Em ensaio realizado no México, por BERNAL *et alii* (1973), encontrou-se 65,56% de pureza de sorgo quando o sorgo era colhido maduro.

O valor máximo para a pureza dos açúcares totais (84,93%) foi obtido com a aplicação do cloreto de potássio na dose 2 (200 kg/ha de K_2O).

Quantidade de açúcar total recuperável

A Tabela 12 mostra as quantidades de açúcar total recuperável em quilogramas por tonelada de colmo e quilogramas por hectare. Observa-se que, no primeiro caso, houve diferença significativa ao nível de 1% entre a testemunha absoluta e os demais tratamentos e ao nível de 5% entre a testemunha NP e os demais tratamentos. Os demais tratamentos não diferiram entre si, sendo que a maior média foi obtida com aplicação da amostra 2 na dose 2 (200 kg de K₂O/ha).

Tabela 12. Quantidade de açúcar total recuperável (kg/t de sorgo e kg/ha).

Tratamentos	Açúcar total recuperável	
	kg/t de colmo	kg/ha
Test. absoluta	20,50	530
Test. NP	22,07	626
KCl (D ₁)	38,20	1023
A ₁ (D ₁)	31,30	950
A ₂ (D ₁)	30,57	926
A ₃ (D ₁)	27,17	949
KCl (D ₂)	38,20	1150
A ₁ (D ₂)	28,10	868
A ₂ (D ₂)	40,90	1370
A ₃ (D ₂)	37,03	1170
CV (%)	21,29	0,98

Tabela 13. Quantidade de álcool teórico (litros de álcool por tonelada de colmo e litros/ha).

Tratamentos	Quantidade de álcool	
	l/t de sorgo	l/ha
Test. absoluta	46,00	1191
Test. NP	49,86	1114
KCl (D ₁)	52,33	1402
A ₁ (D ₁)	51,90	1575
A ₂ (D ₁)	51,36	1557
A ₃ (D ₁)	48,50	1694
KCl (D ₂)	51,60	1553
A ₁ (D ₂)	49,00	1514
A ₂ (D ₂)	50,80	1702
A ₃ (D ₂)	52,06	1646
CV (%)	6,90	0,89

- Teste de Tukey 5% para amostras dentro da dose 1 (l/ha de álcool).

D.M.S. = 31,56

Amostra 3	=	1694a
Amostra 1	=	1575b
Amostra 2	=	1557b
KCl	=	1402c

- Teste Tukey 5% para amostras dentro da dose 2 (l/ha de álcool).

D.M.S. = 31,56

Amostra 2	=	1702a
Amostra 3	=	1646b
KCl	=	1553c
Amostra 1	=	1514d

SERRA (1976), em ensaio realizado na região de Ribeirão Preto, fez estimativas de produtividade em álcool da ordem de 70 l/t de colmo de sorgo. Porém, TEIXEIRA et alii (1977) obtiveram 34 l álcool/t de sorgo.

CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos e analisados, pode-se concluir que:

- 1) O material potássico designado por amostra 2 apresentou maior teor de K_2O solúvel em ácido cítrico 2% e resultou em maior produção de grãos em maior quantidade de potássio exportado pelos mesmos, quando aplicado na dose 2 (200 kg/ha de K_2O).
- 2) O material potássico designado por amostra 1 apresentou a menor granulometria, porém, nem sempre o material de menor grau de finura é o mais solúvel e o mais eficiente.
- 3) Houve resposta à aplicação das fontes de potássio no que diz respeito aos teores deste elemen

to nos colmos e à quantidade do elemento extraída pelos mesmos, porém, não houve diferença entre as fontes utilizadas.

- 4) O cloreto de potássio, quando aplicado na dose 2 (200 kg/ha de K_2O) teve efeito negativo na produção de grãos, na porcentagem de potássio nos grãos e na quantidade de potássio extraída pelos mesmos.
- 5) Houve resposta à aplicação das fontes de potássio no que diz respeito à quantidade de açúcar total recuperável e produção de álcool, porém, o comportamento das fontes foi semelhante.

SUMMARY

AVAILABILITY OF SOME POTASSIUM SOURCES BY USING SWEET SORGHUM (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH)

A field experiment was carried out, at Areão Experimental Farm of Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, Brazil, in a soil named "Terra Roxa Estruturada".

The aim of this experiment was to study the effect of three potassic materials originated from Poços de Caldas, MG, Brazil, which were subject of hydrothermal treatment, on sweet or saccharine sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. "Start", in respect to the grains and stalks yields, the potassium contents of grains, stalks and leaves, the quantities of potassium extracted by grains and stalk and the ethanol.

These potassic materials, including potassium chloride, were applied at two rates of K_2O /ha (100 kg/ha K_2O and 200 kg/ha K_2O).

According to the data, the following conclusion can be drawn:

- 1) One of these potassic materials showed the highest content of K_2O soluble in 2% citric acid solution (26.02%) and gave the highest yield and the highest quantity of potassium extracted by the grain, when applied at the rate of 200 kg/ha K_2O .
- 2) There was no difference between potassium sources and rates in respect to potassium content and quantity of this element extracted, in the stalk, but the potassium sources used in this experiment was superior to the control.
- 3) The potassium chloride when applied at the rate of 200 kg/ha K_2O showed negative effect on grain yield, on concentration and quantity of potassium in the grain.
- 4) The potassium sources increased the quantity of total sugar and ethanol yield in respect to the control.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, S.E.; MAYS, D.A., 1974. Coated and other slow-release fertilizers for forages. In: MAYS, D.A., ed. **Forage fertilization**. Madison, American Society of Agronomy, p. 559-82.
- ARAÚJO, N.Q.; CASTRO, H.F.; VISCONTI, A.E.S., 1977. Sorgo: matéria-prima renovável para a produção de etanol na escalada energética. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, **90**(2): 84-101.

- BERNAL, M.T.; GARCIA, F.S.; GONZALES, R.C., 1973. El cultivo del sorgo azucarero (*Sorghum bicolor*). **Memorias Asociación de Tecnicos Azucareros de Cuba**. La Habana, 3: 99-109.
- BOOK, O.J.; CATANI, R.A.; FREIRE, E.S., 1960. Adubação da batatinha: experiências com leucita, sulfato e cloreto de potássio. **Bragantia**. Campinas, 19(51): 811-828.
- CATANI, R.A.; JACINTHO, A.O., 1974a. Análises químicas para avaliar a fertilidade do solo. Piracicaba, ESALQ/USP, 57 p. (Boletim Técnico Científico, 37).
- CATANI, R.A.; JACINTHO, A.O., 1974b. Avaliação da fertilidade do solo: métodos de análise. Piracicaba, **Livros** Ceres, 61 p.
- COCHRAN, W.G.; COX, G.N., 1957. **Experimental designs**. 2 ed. New York, John Wiley, 611 p.
- COLEMAN, O.H., 1975. Jarabe y azúcar del sorgo dulce. In: WALL, J.S.; ROSS, W.M., **Producción y usos del sorgo**. Buenos Aires, Ed. Hemisfério Sur, p. 239-250.
- COPERSUCAR, 1980. Amostragem e análise da cana-de-açúcar. Piracicaba, 37 p.
- DE MENT, J.D.; STANFORD, G., 1959. Potassium availability of fused potassium phosphates. **Agronomy Journal**. Madison, 51: 282-285.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1979. Resultados do ensaio nacional de sorgo sacarino, 1977/78. Sete Lagoas, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. 46 p. (Boletim Técnico nº 2).
- EVANS, H.J.; SORGER, G.J., 1966. Role of mineral elements with emphasis on univalent cations. **Annual Review Plant Physiology**. Palo Alto, 17: 47-76.

- EVANS, H.J.; WILDES, R.A., 1971. Potassium and its role in enzyme activation. In: INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE. Potassium in biochemistry and physiology. Berna.
- FORS, A.L., 1971. Los esfuerzos in Mexico sobre el sorgo dulce como cosecha complementaria a la caña de azúcar. Sugar y Azúcar. New York, 55(7): 50-54.
- FUJIMORI, K., 1979. Emprego da Kalsilita (ou Kaliofilita) ($KAlSiO_4$) obtida da rocha potássica como fertilizante. In: Resumos do XVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Manaus, p. 48.
- GAUCH, H.G., 1972. **Inorganic plant nutrition**. Stroudsburg. Dowden, Hutchinson & Ross, 488 p.
- GRAHAM, E.R.; ALBRECHT, W.A., 1952. Potassium bearing minerals as soil treatment. Bull. Missouri Agric. Expt. Sta. Res. Columbia, n. 510, 12 p. Apud: Soils and Fertilizers. Harpenden, 16: 464, 1953. (ref. 2288).
- JACKSON, W.A.; VOLK, R.J., 1968. Role of potassium in photosynthesis and respiration. In: KILMER, V.J.; YOUNTS, S.E.; BRADY, N.C., ed. Role of potassium in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, p. 109-145.
- JOHNSTONE, S., 1922. **Potash**. Monographs on mineral resources. Londres, John Murray, 122 p.
- LIMA, M.C.A.; LEITE, J.P.; LYRA, M.A., 1969. Emprego de rochas trituradas como fertilizante potássico na lavoura canavieira. Recife, Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco, 37 p. (Boletim Técnico nº 40).
- MALAVOLTA, E., 1976. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 528 p.

- MALAVOLTA, E., 1977. O potássio e a planta. *Boletim Técnico. Instituto de Potassa*. Piracicaba, nº 1, 60 p.
- McLEAN, E.O., 1965. Aluminium. In: BLACK, C.A. *Methods of soil analysis*. Madison. American Society of Agronomy, v. 2, p. 978-998 (Agronomy. 9).
- NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T.; FUJIMORI, K.; VIDAL, A.A., 1980. Disponibilidade do potássio a partir de vários materiais potássicos, utilizando o arroz como planta indicadora. *Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"*. Piracicaba, 37.
- NEVES, O.S.; CAVALERI, P.A.; ABRAMIDES, E.; FREIRE, E.S., 1960. Adubação do algodoeiro. X. Ensaio com diversos adubos potássicos. *Bragantia* 19(12): 183-200.
- REEVES Jr., S.A., 1976. Sweet Sorghum Report, 1975. College Station, Texas Agricultural Experiment Station, 22 p. (Research Technical Report, 76-3).
- ROSOLEM, C.A., 1979. Contribuição ao estudo da nutrição mineral e adubação do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Piracicaba, ESALQ/USP, 137 p. (Tese de Doutorado).
- SADER, R.; SOUZA, E.A.; AKABANE, M.H., 1979. Marcha de absorção dos nutrientes NPK pela cultura do sorgo e produção de matéria seca. *Anais da XII Reunião Brasileira de Milho e Sorgo*. Goiânia, p. 137.
- SERRA, G.E., 1976. Algumas considerações sobre as possibilidades de matérias-primas para a produção de álcool etílico. *Brasil Açucareiro*. Rio de Janeiro 87 (3): 44-51.
- SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G., 1967. *Statistical Methods*. 6 ed. Ames. Iowa State University, 593 p.
- TEIXEIRA, C.G.; PURCHIO, M.J., 1954. Fermentação alcoólica de sorgo. *Relatório Anual do Laboratório de Microbiologia do IAC*. Campinas, p. 12-15.

TEIXEIRA, C.G.; PURCHIO, M.J.; MENEZES, T.J.A.; SALES, A.M.; ARAKAKI, T., 1977. Produção de álcool etílico de sorgo sacarino. I Simpósio Brasileiro de Sorgo. Brasília, p. 99-104.

VIDAL, A.A.; NEPTUNE, A.M.L.; FUJIMORI, K.; MURAOKA, T., 1980. Kalsilitas obtidas de rocha potássica como fonte de potássio. Resumos da XVI Reunião Brasileira de Ciência do Solo. Cuiabá, p. 32.